

文章编号: 1002-0446(2002)05-0471-06

我国空间机器人 RSM 问题的若干基本问题探讨*

陈胜军

(东南大学仪器科学与工程系 南京 210096)

摘要: 空间机器人的可靠性/安全性/维修性(简记为 RSM)是制约我国空间机器人发展的关键技术之一. 本文阐述了机器人 RSM 的研究现状及其存在的主要问题, 提出了解决空间机器人 RSM 问题的基本对策.

关键词: 空间机器人; 可靠性; 安全性; 维修性

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

RESEARCH ON SOME BASIC PROBLEMS CONCERNING OUR SPACE ROBOTS' RSM

CHEN Sheng-jun

(Department of Instrument Science & Technology, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract: The reliability/safety/maintainability(RSM) of space robots are key technologies to restrict the development of our space robots. This paper expounds the research status and the main problems of robots' RSM. And the basic countermeasures to resolve our space robots' RSM are put forward.

Keywords: space robot, reliability, safety, maintainability

1 引言(Introduction)

机器人是一个复杂的机械-电子系统. 机器人的可靠性/安全性/维修性(Reliability/Safety/Maintainability, 简记为 RSM)是机器人在生产中是否可依赖的关键性能. 机器人不同于普通机器之处是自由度多, 运动范围大, 具有复杂的结构和功能, 并具有较强的“独立性”. 这一方面使机器人具有高度的灵活性, 同时也使得在机器人运动的包络范围内每一处都成为潜在危险区, 一旦失效或发生故障, 将造成难以预测的后果.

智能机器人研究的现状表明: 机器人系统的可靠性(包括软件、硬件、机械、电子)及安全性问题不过关已经成为制约智能机器人特别是空间机器人发展的最重要因素^[1, 3, 5]. 机器人实用化和商品化的关键在于它的可靠性和安全性. 由于受可靠性/安全性问题的制约以及空间机器人可靠性/安全性的特殊性, 我国空间机器人尚处于预研阶段, 毫无疑问: 研究空间机器人系统可靠性、安全性及维修性系的设

计分析方法与技术, 对于推动我国空间机器人的研究和发展不仅具有重大的理论与现实意义, 而且具有重大的战略意义与广泛的应用前景.

2 国内外现状(Domestic and overseas status)

2.1 工业机器人方面

2.1.1 国外

美国于 1960 年定型生产的 Unimate 机器人, 标志着机器人产业的形成. 1970 年于美国召开的第一次国际工业机器人会议, 标志着机器人专门学科的形成. 三十多年来, 机器人产业在世界范围内达到迅速发展, 世界强国的工业机器人技术已趋与成熟. 其中, 特别引人注目的机器人的 RSM 问题, 也得到了较好的解决, 一系列有关工业机器人 RSM 的标准也相继出台. 80 年代, 世界上一些发达国家就开始机器人可靠性及安全性方面的研究和有关标准的制定工作. 苏联于 1982 年制定了工业机器人国家标准; 日本在 1982 年发生机器人打死工人事件后, 于 1983 年

* 基金项目: 东南大学科学基金资助项目.

制定了工业机器人安全性通用规则;西德于1984年制定了工业机器人安全性要求,而美国于1986年制定了美国国家标准《工业机器人系统安全性要求》。与此同时,世界一些大的机器人公司,如美国的Westinghouse公司/Graco公司/Adept公司、意大利菲亚特集团的Komau公司、西德的Kuka公司对机器人可靠性指标都提出了明确要求。

值得指出的是:(a)有关工业机器人RSM方面的标准对空间机器人是不适用的,或者说不是完全适用的。这是因为空间机器人与一般工业机器人相比,具有许多特殊性。(b)国外有关机器人的书籍很多,但有关机器人RSM方面专著并不多见。

2.1.2 国内

有关工业机器人的研究和应用总体尚处于起步阶段。在机器人的RSM方面,除廖炯生同志主编的《机器人可靠性、维修性、安全性》(1994年)一书外,其它有关机器人可靠性、安全性方面的报道寥寥无几。

2.2 空间机器人方面

2.2.1 国外

美国:已投入实际使用的空间机器人有航天飞机摇操作机器人、行星探测机器人;即将投入使用的空间机器人有空间站摇操作机器人系统;正在研制的空间机器人有月球探测机器人、舱内服务机器人、舱外服务机器人、自由飞行机器人等。

日本:用于空间试验的空间机器人、用于空间站服务的空间机器人、月球探测机器人等。

欧洲:用于空间站服务的空间机器人、月球探测机器人、舱内服务机器人等。

俄罗斯:用于空间站服务的空间机器人、舱内外主从式机器人等。

在以上介绍的空间机器人中,有的已成功地用于空间服务,有的即将投入实际使用,还有的正处于设计、研制之中。但有一点是明确的,即国外在各类空间机器人RSM方面的技术已达到了实用程度。

2.2.2 国内

我国在空间机器人发展方面正处于战略决策及预研阶段。

2.3 基本结论

(1)国外在一般工业机器人RSM方面已经制定出了有关的可靠性指标、技术要求及相关标准;在空间机器人方面的RSM技术已经达到实用程度。

(2)国内在参照国外有关文献的基础上,提出了我国第一代工业机器人在RSM方面的技术要求;有

关空间机器人RSM的技术尚处于研讨阶段。由此可见,国内外在工业机器人、空间机器人的研究、应用及其有关机器人RSM技术方面的差距是显而易见的。

3 我国空间机器人RSM技术的发展设想 (Development plan of our space robots' RSM)

众所周知,RSM问题与产品或系统的工作条件、工作时间、规定功能以及对故障/失效的界定均密切相关。为此,在研制各类空间机器人的过程中,我们既要紧紧抓住其中最基本、最关键的共性问题进行研究,同时也要考虑不同功能对RSM的不同要求。笔者以为,在探讨、研究和发展空间机器人RSM技术方面应遵循以下思路与原则:

3.1 总体思路

空间机器人无论多么复杂,其主体构造仍然是机械本体+检测、控制系统+伺服执行系统。它们的基本组成单元依然是机械零部件、电子元器件。所不同的是,空间机器人所处的工作环境、功能要求、技术要求以及对RSM的要求均具有特殊性。这些特殊性对它们的基本组成单元提出了特殊要求。此外,随着新技术、新材料、新工艺的迅速发展,新型元器件不断出现,其集成度也日益提高。这也是可靠性研究中值得注意的一个问题。因此,研究空间机器人RSM问题的总体思路为:以现有机器人RSM技术为基础,针对空间机器人对基础零部件(电子、机械)的特殊要求以及不断涌现的新型元器件的特点,对制约空间机器人RSM技术发展、提高的瓶颈问题进行深入地理论与试验研究,并寻求对这些问题的简单、实用的工程化解决方法。

3.2 空间机器人方案研究与制定

收集、研究国外有关空间机器人方面的文献资料与信息,分析并确定我国空间机器人研制的总体方案及各局部系统方案,其中包括空间机器人的研制类型、基本功能、作业时间及强度、技术要求等,并对其故障/失效的内涵作出明确界定。这对空间机器人RSM技术路线的选择是非常重要的。

3.3 空间环境研究

空间机器人与一般工业机器人的最大区别就是工作时所处空间位置和环境条件不一样。空间环境中的前强电磁辐射、磁层等离子体、地磁场、空间碎片、宇宙射线等因素对空间机器人的机械另部件本体、电子元气件性能、逻辑系统、预定运行轨迹、通讯

测控及温度等均会产生巨大影响^[2,4]。这些影响因素对空间机器人 RSM 技术提出了更高的要求,在空间机器人的预研、设计、试验及制造中都必须加以认真考虑。因为,离开了具体工作环境来谈可靠性问题是没有什么意义的,正如离开了产品的具体功能和工作时间来谈可靠性问题没有意义一样。因此,为了提高空间机器人的 RSM 性能以及遥操作通信的可靠性,必须首先对空间机器人所处的工作环境进行深入研究,尽可能给出有关影响因素的详细资料,以便分析利用。

3.4 RSM 技术执行要贯彻始终

具体说来,在空间机器人的方案论证、设计、研制、试验、使用等各个阶段,必须始终把空间机器人的 RSM 放在优先考虑的问题,并采取明确的 RSM 技术措施加以保证;在发展空间机器人的论证阶段,要根据国外有关类似产品的故障统计资料,在 RSM 方面对所要发展、研制的对象提出定性要求;在空间机器人的方案阶段,要根据基础另部件、元器件等的失效等级和现有的设计、制造水平,参考有关的故障统计资料,提出空间机器人可靠性的定量指标。

3.5 跳出理论研究误区

目前,有关可靠性的研究非常活跃,研究论文层出不穷,理论研究硕果累累。如果从促进可靠性学科本身的发展来看,这是一种好现象。但笔者以为,目前有关可靠性方面的研究存在以下问题:(1)论文数量较多但高质量的较少;(2)重复性研究较多独创性研究较少;(3)零散性研究较多系统性研究较少;(4)面上研究较多纵深研究较少;(5)新术语新名词新概念较多而实用性的方法较少;(6)假设条件较多而接近实际的较少。

上述现象的存在具有多方面的原因。其中,脱离实际工程应用背景,从理论到理论的研究方法很值得反思。对于面向工程应用的理论研究来说,长此以往无异于做文字游戏。可靠性研究应该跳出理论研究的误区,要把主要精力放在发现问题上,通过分析研究,找到能够排除故障、切实提高产品可靠性的有效方法。再通过反复验证,将那些行之有效的可靠性工程方法提炼出来,以便推广应用。

3.6 可靠性指标要工程化

无论硬件还是软件,在谈论可靠性问题时都离不开一些可靠性指标。问题的关键是在产品的设计、制造及管理过程中,如何才能落实并保持这些可靠性指标。产品可靠性指标的检验通常是在产品生产出来以后进行抽检才能得到,这是一种被动的检查

方法。即使发现问题,也难以准确判断问题出在哪个环节,这就给问题的解决带来了困难。

在产品的设计方案确定后,一般就可以进行产品可靠性的预计与分配。当可靠性指标一级一级地分配下去以后,由于各级可靠性指标在生产过程中很难用仪器直接测量得到,因此,每一级的可靠性指标是否落实很难得到实时反映。为此,必须把可靠性指标转化成便于实时监测的工程化指标,以使得产品的整体可靠性指标得到有效落实并能够实时监测。

4 空间机器人 RSM 涉及的关键问题及其对策 (The key problem and counterplan of space robots' RSM)

在目前情况下,我国也许只能建造“短期有人照料,长期无人职守”的小型空间实验室,即需要研制小型空间实验机器人。此外,空间探测机器人也是急需研制的对象。对小型空间实验机器人来说,在有人照料期间,宇航员和机器人同时在空间实验室工作,此时,空间实验室属于载人工作期。宇航员主要负责空间实验室的物资补充、检测替换并执行一些特殊任务等。在无人职守期间,空间机器人要能够独自负责日常实验及维护工作,同时又能随时接受地面监视和控制。如果从组成要素的角度来看,机器人系统是由硬件、软件、人和环境四大要素组成的复杂的人—系统。因此,空间机器人 RSM 可能涉及的关键问题包括:(1)机器人系统本身(包括硬件、软件)的 RSM 问题;(2)空间机器人的自诊断和自修复问题;(3)地面监视、通讯及控制系统的 RSM 问题;(4)人的 RS 问题;(5)空间站载人期人和设备的 Safety 问题;(6)环境对人—系统中各要素 RSM 的影响问题等。

4.1 在可靠性方面

在硬件可靠性方面:对非电子产品,要针对产品特点,深入研究产品故障模式、机理及其影响因素,结合国外成功经验,积极研究开发实用的工程可靠性技术手段、试验方法,并制定相关的工艺标准、规范等;对电子产品,要重视对新型集成元器件失效机理及失效模型的理论及实验研究,因为它们的失效率可能不再服从指数分布;在软件可靠性方面:不能简单套用传统的有关硬件可靠性的定义、术语、指标体系,要对软件可靠性的内涵加以科学界定,研究、开发实用的软件可靠性模型和测试评价方法;在人和环境的可靠性方面:要重点研究操作人员的行为

规律以及空间动态环境对可靠性问题所产生的影响,提出并制定相应的评价方法和标准规范。此外,要重视研究模糊不确定性对各类可靠性所带来的影响及其有效的综合评价方法;要重视研究如何综合考虑人一机系统中各个要素的可靠性问题以得到系统整体的可靠性性能指标。

在空间机器人可靠性方面涉及的关键技术包括:(1)模糊不确定性的分析、识别及综合评估技术;(2)考虑模糊故障不确定性的故障分析技术;(3)人和环境的可靠性模型及评估方法;(4)软件可靠性模型、检测及评估技术;(5)遥操作的可靠性、安全性技术;(6)新型元器件、部件的可靠性问题;(7)关于人一机系统的工程可靠性设计、评价及实施技术。

4.2 在安全性方面

安全性包括人身安全性和设备(硬件、软件)安全性两大类。对空间机器人系统来说,无论是否有人在场,都存在安全性问题。在无人在场时,必修考虑机器人在对易损及关键部件检查、修换时的安全性问题,它们主要包括:机器人对空间站及其内部仪器、设备可能造成的损害;机器人由于自身原因(如关节、传感器故障等)、外部原因(如能源中断、环境变化)所可能造成的功能丧失、损害以及碰撞等问题。在有人在场时,除了要考虑上述安全性问题以外,还要考虑机器人可能对宇航人员造成的伤害问题。

在空间机器人的安全性方面,关键是要研究、开发安全智能保障系统。该系统涉及的关键技术有:(1)危险性识别及评价技术;(2)生命安全保障技术;(3)避碰控制算法;(4)故障、错误、干扰等不安全因素的分级检测及防护措施。

4.3 在维修性方面

由于空间机器人长期处于无人工作状态,因此,要重点研究机器人本身的自我诊断和修复技术。由于维修性是产品的设计质量特性,因此,在设计时就应该注意机器人自我诊断和修换的简易性和可靠性。而且,空间机器人的自我修换应该定位于板卡级,对于更深层次的故障应由其它修复系统完成。

4.4 在测试性方面

测试性其实属于维修性范畴,任何修复都必须

首先进行准确测试。测试性包括机内测试性和机外测试性两大类。空间机器人的自我诊断属于机内测试范畴,它主要用于机器人系统本身在工作过程中的自我性能检测和修复。空间机器人的机外测试性主要是指产品出厂前的整机性能测试问题。同维修性一样,测试性也是产品的一种设计特性,因此,在硬件、软件及整机系统设计时都要注意其测试性问题。目前,有关电子整机的性能测试技术已比较成熟,有关机器人系统中其它组成要素的测试性问题尚有待于深入研究。

5 小结(Summary)

本文首先简要阐述了研究空间机器人 RSM 问题的重要意义,接着介绍了国内外空间机器人及其 RSM 技术的发展现状。根据国内外发展现状,对空间机器人进行了明确分类,提出了发展我国空间机器人 RSM 技术的总体思路与原则设想。最后提出了我国空间机器人 RSM 涉及的关键问题及其解决对策。

参考文献 (References)

- [1] I D Walker, J R Cavallaro. Failure mode analysis for a hazardous waste clean-up manipulator. *Reliab Engng Systeem Safety*, 1996, **53**(3): 277- 290
- [2] K D Russell. Fault tree reduction and quantification-an overview of IRRAS algorithms. *Reliab Engng Systeem Safety*, 1993, **40**(2): 149- 164
- [3] M L Visinsky, J R Cavallaro, I D Walker. Robot fault detection and fault tolerance: a survey *Reliab Engng Systeem Safety*, 1994, **46**(1): 139- 158
- [4] I Walker. Robot fault detection and fault tolerance: a survey. *Reliab Engng Systeem Safety*, 1994, **46**(1): 39- 58
- [5] D L Hamilton, I D Walker, J K Bennett. Fault tolerance versus performance metrics for robot systems. *Reliab Engng Systeem Safety*, 1996, **43**(3): 309- 318
- [6] H s Lee, C H Lie, js Hong. A computation method for evaluating importance-measure of gates in a fault tree. *IEEE Transactions on reliability*, 1997, **46**(3): 360- 365
- [7] J D Musa. Operational profiles in software reliability engineering. *IEEE Software*, 1993, **10**(1): 14- 32

作者简介:

陈胜军(1964-),男,博士,副教授。研究领域:机器人系统可靠性、现代设计方法及应用。